



■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

HYBRIDIJÄRJESTELMÄN LAITTEISTON KUVAAMINEN JA TOIMINNAN SELVITTÄMINEN

TEKIJÄ: Juha Huovinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Energiatekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Juha Huovinen			
Työn nimi Hybridijärjestelmän laitteiston kuvaaminen ja toiminnan selvittäminen			
Päiväys	28.01.2016	Sivumäärä/Liitteet	25/1
Ohjaaja(t) Ritva Käyhkö, Olli-Pekka Kähkönen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Kari Timonen			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Työn tarkoituksena oli kuvata toimeksiantajan kiinteistön hybridijärjestelmän laitteistoa ja niiden toimintaa sekä tuottaa periaatteelliset piirrustukset laitteiston putkista. Lisäksi työssä lasketaan mahdollisia tuottolukuja kohteen aurinkolämpöjärjestelmän osalta.</p> <p>Kohteen kulutuslukemat laskettiin käyttäen hyväksi olemassa olevia laskureita ja laskentakaavoja, koska kulutustietoja ei ollut saatavissa.</p> <p>Työssä tuotettiin kohteesta laitteistopiirrustukset Autodeskin AutoCad P&ID:llä.</p> <p>Laitteiston toimintaa selvittäessä todettiin sen olevan hyvä ja järjestelmän eri osat toimivat kohtuullisen hyvin yhdessä. Lisäksi laskemalla selvitettiin järjestelmän mitoituksen olevan oikean suuruinen.</p> <p>Ongelmia työn tekemisessä aiheutti kulutuslukemien puute sekä se ettei järjestelmästä ollut olemassa minkäänlaisia putkistopiirrustuksia. Lisäksi laiterikko esti aurinkolämpöjärjestelmän täydellä teholla ajamisen kesän ja syksyn 2015 aikana.</p> <p>Kokonaisuutena toimeksiantajalla on toimiva hybridijärjestelmä joka on mitoitettu oikean kokoiseksi. Kesällä 2016 tullaan aurinkolämpöjärjestelmä optimoimaan toimimaan optimaalisella teholla.</p>			
<p>Avainsanat</p> <p>Hybridijärjestelmä, aurinkolämpöjärjestelmä, maalämpö, puukattila, putkistopiirrustukset</p>			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Energy Technology			
Author(s) Juha Huovinen			
Title of Thesis Describing Hybrid System Equipment And How the System Works			
Date	28.01.2016	Pages/Appendices	25/1
Supervisor(s) Ritva Käyhkö, Olli-Pekka Kähkönen			
Client Organisation /Partners Kari Timonen			
<p>Abstract</p> <p>The objective of the thesis was to describe client's hybrid system equipment and its operation and to produce principled piping drawings of the system. In addition also potential return figures concernig the solar thermal system were calculated.</p> <p>The property's consumption readings had to be counted utilizing existing counters and calculation formulas because consumption data was not available.</p> <p>During the thesis process the equipment drawings were made by using Autodesk AutoCAD P & ID.</p> <p>It was found out that the operation of the hardware and that the various parts of the system work reasonably well together. In addition it was calculated that the system dimensioning is right sized.</p> <p>Problems in doing the thesis resulted from the lack of consumption readings and the fact that there were no piping drawings of the system. In addition due to a machine failure the solar heating system wa not working at full capacity in summer and autumn 2015.</p> <p>Client has as a whole a functional hybrid system that is correctly sized. In the summer 2016 the solar heating system will be optimized to operate with optimum efficiency.</p>			
<p>Keywords</p> <p>Hybrid system, solar heating system, geothermal, wood boiler, piping drawings</p>			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	6
1.1	Energialaskuri ja käytetyt kaavat.....	6
2	HYBRIDIJÄRJESTELMÄN MITOITUS	8
2.1	Lämmöntarpeet	8
2.2	Lämmöntuotanto	10
3	HYBRIDIJÄRJESTELMÄN KUVAUS	12
3.1	Maalämpö	12
3.2	Puukattila	12
3.3	Aurinkolämpöjärjestelmä	13
3.4	Lämmivesivaraaja	15
4	JÄRJESTELMÄN TOIMINTA.....	18
4.1	Järjestelmän toiminta ja ajotapa	18
4.2	Ongelmat ja ratkaisut.....	21
5	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	22
6	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	24
7	LIITTEET.....	25

KÄYTETYT KÄSITTEET SEKÄ KAAVOISSA KÄYTETYT MUUTTUJAT

Lämmitystysjärjestelmä	Lämmitykseen ja lämpimän käyttöveden tuotantoon tarkoitettu järjestelmä
Hybridijärjestelmä	Lämmitysjärjestelmässä on useita energialähteitä
Aurinkolämpö	Aurinkokeräimillä tuotettu lämpö
Maalämpö	Maalämpöpumpulla tuotettu lämpö
Lämminvesivaraaja	Lämpimän veden varastointiin tarkoitettu säiliö
Q_{lkv}	Lämpimän käyttöveden tuottamiseen tarvittava energia
c	ominaislämpökapasiteetti
m	massa
Δt	lämpötilaero
pV_{lkm}	päivien lukumäärä kuukaudessa
η_{keruu}	keruupiirin hyötysuhde
η_a	Aurinkokeräinten hyötysuhde
η_{kok}	Aurinkolämmön kokonaishyötysuhde
Q_{ker}	Aurinkokeräinten tuotto
Q_s	aurion kuukausittainen säteily
A	absorbaatio pinta-ala
k	keräinten korjauskerroin
Q_{lkl}	Kilowattitunnit per lämmitystarveluku
Q_{kl}	lämmitykseen kuluva energia vuosittain
Itl_{kok}	kokovuoden yhteenlasketut lämmitystarveluvut
Q_{lkk}	Kuukausittainen lämmitystarve
Itl_{kk}	kunkin kuukauden lämmitystarveluku

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on kuvata toimeksiantajan Leppävirralla sijaitsevan asuinkiinteistön lämmitysjärjestelmän toimintaa ja miettiä hybridijärjestelmän ongelmia ja niihin olemassa olevia ratkaisuja sekä tuottaa järjestelmästä periaatteelliset putkipiirrustukset. Lisäksi tarkoituksen on selvittää hybridijärjestelmän mitoitus.

Kiinteistön lämmitysratkaisuna on niin kutsuttu hybridijärjestelmä eli yhdistettynä on puukattila, maalämpöjärjestelmä sekä aurinkolämpöjärjestelmä. Lisäksi lämminvesivaraajassa on varalla kaksi kuuden kilowatin sähkövastusta.

Alkuperäisen opinnäytetyösuunnitelman mukaan tarkoituksena oli optimoida olemassa olevaa lämmitysjärjestelmää ja varsinkin sen osana olevaa aurinkolämpöjärjestelmää kesän 2015 aikana. Laiterikosta johtuen ei päästy kuitenkaan tekemään muuta kuin tutustumaan järjestelmään ja optimointiin ei päästy puuttumaan ollenkaan vaan tämä on tarkoitus tehdä myöhemmin ehkä kesällä 2016. Suunnitelma muuttui siis optimoinnista järjestelmän kuvaamiseen ja ongelmakohtien tutkimiseen ja ratkaisujen miettimiseen.

1.1 Energialaskuri ja käytetyt kaavat

Laskelmia varten tehtiin excelillä energialaskuri käyttäen pohjana Fin-Solarin sivuilta löytynyttä aurinkolämmön investointilaskuria. Laskuriin syötetään tarpeelliset lähtötiedot eli kiinteistön lämmitykseen tarvittava energia, lämpimän käyttöveden määrä/hlö, asukkaiden määrä, haluttu lämpimän käyttöveden lämpötila, kylmän veden lämpötila, aurinkokeräinten absorbaatio pinta-ala, keräinten hyötysuhde, keruupiirin hyötysuhde, varaajan tilavuus sekä varaajan häviölämpö. (Juntunen ja Auvinen: Aurinkolämmön kannattavuus- ja mitoituslaskuri)

Annettujen lähtötietojen perusteella laskurilla pystytään laskemaan kiinteistön kuukausittainen lämmönkulutus, lämpimän käyttöveden tuottamiseen kuluva energia, varaajan häviöt kuukausittain, aurinkolämmön tuottama lämpö, maalämmöllä ja puukattilalla tuotettu lämpö sekä aurinkolämmöllä tuotetun lämmön prosenttiosuus kokonaisuudesta.

Laskelmissa ja energialaskurissa käytetään seuraavia kaavoja:

Lämpimän käyttöveden tuottamiseen tarvittava energia saadaan kaavasta

$$Q_{lkv} = c \cdot m \cdot \Delta t \cdot p_{v_{lkm}} / 3600, \quad (1)$$

jossa c = ominaislämpökapasiteetti = 4,19 kJ/kgK, m = massa, Δt = lämpötilaero ja $p_{v_{lkm}}$ = päivien lukumäärä kuukaudessa.

Aurinkolämmön kokonaishyötysuhde saadaan kaavasta

$$\eta_{\text{kok}} = \eta_{\text{keruu}} \cdot \eta_a, \quad (2)$$

jossa η_{keruu} = keruupiirin hyötysuhde ja η_a = aurinkokeräinten hyötysuhde

Aurinkokeräinten tuotto saadaan kaavasta

$$Q_{\text{ker}} = Q_s * A * \eta_{\text{kok}} * k, \quad (3)$$

jossa Q_s =auringon kuukausittainen säteily, A =absorbaatio pinta-ala ja k =keräinten korjauskerroin.

Kilowattitunnit per lämmitystarveluku saadaan kaavasta

$$Q_{\text{lti}} = Q_{\text{lk}} / \text{ltl}_{\text{kok}}, \quad (4)$$

jossa Q_{lk} =lämmitykseen kuluva energia vuosittain ja ltl_{kok} =kokovuoden yhteenlasketut lämmitystarveluvut.

Lämmitystarve kuukausittain saadaan kaavasta

$$Q_{\text{lk}} = \text{ltl}_{\text{kk}} * Q_{\text{lti}}, \quad (5)$$

jossa ltl_{kk} =kunkin kuukauden lämmitystarveluku ja Q_{lti} =kWh/lämmitystarveluku.

2 HYBRIDIJÄRJESTELMÄN MITOITUS

Hybridijärjestelmää ja muuta lämmöntuotantojärjestelmää mitoittaessa on tiedettävä lämmöntarpeet eli paljonko kuluu lämmintä käyttövetä ja paljonko lämmitykseen tarvitaan energiaa. Lisäksi on tiedettävä paljonko milläkin lämmöntuotantotavalla saadaan lämpöä eri vuodenaikoina.

2.1 Lämmöntarpeet

Lämmöntarpeita mietittäessä olisi siis hyvä tietää kyseessä olevan kohteen kulutusarvot, eli paljonko lämmintä vettä on kulunut ja paljonko lämmitykseen on mennyt energiaa.

Jos näitä kulutusarvoja ei ole tiedossa, niin Motivan internet-sivuilta löytyy tietoa jonka avulla pystytään laskemaan erilaisten kohteiden kuluttamat lämpömäärät. (Motiva 2015: Koti ja asuminen)

Kohteen lämmitystarve rajoittuu hirsiseen omakotitaloon sekä saunamökkiin, joissa on vesikiertopattereita sekä –lattialämmitystä. Lämmitettävää pinta-alaa on yhteensä 145 m². Lämmintä käyttövetä tarvitaan puolestaan kahden henkilön tarpeisiin. Kiinteistö ei ole kunnallistekniikan piirissä vaan käyttövesi saadaan porakaivosta ja veden kulutuslukuja ei ole näin ollen tiedossa. Lisäksi ei ole tiedossa paljonko lämpöä on kulunut lämmitykseen ja paljonko käyttöveden lämmittämiseen, joten lämmöntarpeet täytyy siis laskea olemassa olevien kaavojen avulla, jotka löytyvät Motivan internet-sivuilta ja rakennusmääräyskokoelma D5:stä sekä käyttäen energialaskuria, joka on tehty tätä tilannetta varten sopivaksi. Kulutusarvojen laskennassa kulutukset on pelkistetty eli rakennuksen omia mm. kodinkoneista ja muista sähkölaitteista tulevia lämpövirtoja ei ole otettu huomioon. Laskentapohjassa käytetyt auringon säteilyarvot kWh/m²/kk on otettu Ympäristöministeriön julkaisemasta Aurinko-opas 2012 dokumentista ja ne ovat arvoja Jyväskylän korkeudelta joten niitä voidaan käyttää myös tämän kiinteistön laskujen pohjana. (Ympäristöministeriö: Aurinko-opas 2012)

Motiva on julkaissut lämmitysvertailulaskurin, jolla saadaan laskettua rakennuksen lämmitykseen kuluvan energian määrän, kun tiedetään rakennuksen pinta-ala ja huone korkeus. Laskurin antamaa kulutusarvoa käytetään laskuissa, koska kulutustietoja ei ole. Kohteen vuosittainen lämmitysenergian tarve lämmitysvertailulaskurin mukaan on noin 22000 kWh. Toimeksiantaja arvioi laskurin antaman lukeman suurinpiirtein oikeaksi. (Motiva 2015: Lämmitysvertailulaskuri)

Kuukausittaisien lämmitystarpeiden laskemiseen tarvitaan keskimääräisiä kuukausittaisia lämmitystarvelukuja. Lämmitystarveluku saadaan, kun lasketaan kunkin kuun päivittäisten sisä- ja ulkolämpötilojen erotus. Työssä käytetyissä Ilmatieteen laitoksen vuosien 1981-2010 keskiarvo lämmitystarveluvuissa sisälämpötilana käytetään +17°C, joka on yleisesti käytetty lämpötila lämmitystarvelukuja laskettaessa. Koko vuodelle saadaan lämmitystarveluku 4832, kun lasketaan kunkin kuukauden lämmitystarveluvut yhteen. Seuraavaksi tarvitaan tietää paljonko kilowatteja tulee per lämmitystarveluku, joka saadaan kaavalla 3. jakamalla vuosikulutus koko vuoden lämmitystarveluvulla. Näin tekemällä saadaan arvo 4,6 kWh/LTL. Kaavan 5. mukaan saatu luku puolestaan kerrotaan kunkin kuukauden lämmitystarveluvulla saadaksemme kunkin kuukauden

ominaislämmönkulutuksen. Kulutus jakautuu taulukon 1 mukaisesti. (Ilmatieteenlaitos 2015) (Etelä-Suomen Prosessisysteemi Oy)

Taulukko 1: Kiinteistön kuukausittainen lämmönkulutus.

	Kiinteistön lämmönkulutus kWh
Tammikuu	3575
Helmikuu	3280
Maaliskuu	2940
Huhtikuu	2005
Toukokuu	940
Kesäkuu	180
Heinäkuu	45
Elokuu	255
Syyskuu	1035
Lokakuu	1885
Marraskuu	2590
Joulukuu	3270
yhteensä	22000,0

Suomessa lämmintä käyttövettä kuluu keskimäärin 40-60 litraa henkeä kohti, joten laskuissa valittiin kulutus arvoksi 50 litraa hengeltä ja yleisesti käytetään 55°C lämpimän käyttöveden ja 5°C kylmän käyttöveden lämpötiloina, joten ne valittiin laskuissa käytettäväksi. (Motiva 2015: Vedenkulutus)

Lämpimän käyttöveden tuottamiseen kuluva energiamäärä saadaan kaavasta 1. Lämmitettävän veden massa on m , joka tässä tapauksessa on $2 \cdot 50 \text{ kg}$ eli 100 kg ja Δt on lämpimän käyttöveden ja kylmän veden lämpötilojen erotus eli tässä tapauksessa $55^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C} = 50^\circ\text{C}$. Tämä saatu tulos on käyttöveden lämmittämiseen vuorokaudessa kuluva energiamäärä kilojouleina, kun tulos kerrotaan kunkin kuukauden päivien lukumäärällä saadaan kuukausikohtainen energiamäärä. Tämä tulos puolestaan jaetaan 3600, jotta saadaan arvo kilowattitunteina. Lämpimän käyttöveden tuottamiseen kuluvan energian määräksi saadaan 2125 kWh ja kuukausittain kuluva energiamäärä puolestaan selviää taulukosta 2. Kokonaisuudessaan kiinteistön lämmittämiseen ja käyttöveden tuottamiseen menee laskennallisesti energiaa 24125 kWh. Tähän lukemaan, kun lisätään varaajan vuosittainen lämpöhäviö 1500 kWh saadaan kokonaiskulutukseksi 25625 kWh. Tavoitteena on tuottaa tästä energiamäärästä mahdollisimman paljon aurinkolämmöllä. (Ympäristöministeriö 2012: Rakennusmääräyskokoelma D5)

Taulukko 2: Lämpimän käyttöveden tuottamiseen kuluva energia.

	Päivien lukumäärä	Energia LKV:n kWh $Q_{lkv} = (cm\Delta t / 3600) \cdot p \cdot v \cdot l \cdot km$
Tammikuu	31	180
Helmikuu	28	165
Maaliskuu	31	180
Huhtikuu	30	175
Toukokuu	31	180
Kesäkuu	30	175
Heinäkuu	31	180
Elokuu	31	180
Syyskuu	30	175
Lokakuu	31	180
Marraskuu	30	175
Joulukuu	31	180
yhteensä		2125

2.2 Lämmöntuotanto

Toimeksiantajan hybridijärjestelmässä lämpöä tuotetaan siis pääasiassa kolmella eri lämmöntuotantotavalla. Päälämmönlähteinä toimivat maalämpö sekä puukattila, aurinkolämpöjärjestelmä toimii lisälämmönlähteenä ja hyöty tästä saadaan pääasiassa kesällä. Puukattilan ja maalämmön tuottamaa lämpö määrää täytyy tutkia yhtenä kokonaisuutena, koska puukattilasta saatava lämpö määrä on riippuvainen siitä, kuinka paljon puita poltetaan. Myöskin mitä enemmän puukattilaa käytetään, sitä vähemmän maalämpö on päällä. Lämmöntuotantoa laskettaessa arvot ovat yksinkertaistettu eli kiertovesipumppujen käyttämää sähköenergiaa ei ole otettu huomioon, koska oletuksena jokainen järjestelmän kolmesta kiertovesipumpusta käyttää saman verran sähköä ja ne eivät yleensä ole samaan aikaan päällä. Lisäksi maalämmön käyttämää sähköä ei ole otettu huomioon, koska maalämmön käyttöaste riippuu puukattilan käyttöasteesta. Käytännön kannalta on perusteltua pysyttäytyä bruttolämmön käytössä laskuissa ja näin ollen käsittelen puukattilan ja maalämmön tuottamaa lämpö määrää yhtenä kokonaisuutena. Varaajan vuotuinen lämpöhäviö 1500 kWh/a on perusteltua ottaa mukaan laskuihin, koska se mahdollisesti vaikuttaa aurinkolämmön maksimituotantokuukausina varaajan kykyyn vastaanottaa mahdollisimman paljon lämpöä. Kuukautta kohden lämpöhäviö on 125 kWh. Laskennallisesti tämä lämpöhäviö pystytään kompensoimaan täydellisesti aurinkolämmöllä kesä- ja heinäkuussa. (Ympäristöministeriö 2012: Rakennusmääräyskokoelma D5)

Kohteen aurinkolämpöjärjestelmän tuottaman energiamäärän laskennassa käytetään Jyväskylän eli vyöhykkeen III säteilymääriä sekä kullekin kuukaudelle keräimien kallistuksen 45° mukaan annettuja korjauskertoimia. Aurinkojärjestelmästä saatu tuotto Q_{ker} on laskettu seuraavasti: Kerrotaan kuukausittainen säteily määrä Q_s keräinten absorptaatio pinta-alalla A , kokonaishyötysuhteella η_{kok} ja asennuskulman 45° :tta mukaisella kuukausittaisella korjauskertoimella k . Tästä saadaan siis kaava 2. johon sijoittamalla saadaan kunkin kuukauden aurinkojärjestelmästä saatava tuotto. Saatua

tuottolukema on yksinkertaistettu, koska se havainnollistaa sellaisenaan järjestelmän kokoluokkaa ja tuotantoa, joten laskuissa ei ollut tarpeellista käyttää monimutkaisempia laskentakaavoja.

Taulukossa 3 nähdään kuukausittainen auringon lämpösäteily, kuukausittaiset korjauskertoimet sekä keräinten laskennalliset kuukausittaiset tuottolukemat ja kiinteistön lämmönkulutuslukemat.

Taulukkoon on otettu mukaan myös lämpimän käyttöveden tuottamiseen tarvittavat lämpömäärät, joista huomataan, että teoriassa järjestelmällä pystytään tuottamaan lämpimän käyttöveden tuottamiseen tarvittava lämpömäärä helmikuusta melkein lokakuulle asti. Laskennallisena kokonaistuottona keräimistä saadaan 4602,88 kWh energiaa. Kesä- ja heinäkuussa aurinkolämmöllä pystytään kattamaan lämmitykseen, lämpimän käyttöveden sekä varaajan lämpöhäviön energiamäärät ja saadaan myös varastoitua lämpöä varaajaan. Laskennallisesti kaikkea ylijäämä lämpöä ei pystytä varaajaan keräämään, koska varaajan maksimi lämpötilana on hyvä käyttää 90°C:ta ja näin ollen varaajan lämpötilaa voidaan nostaa 35°C ja lämpömäärä, joka tuohon nostoon kuluu on n. 80 kWh. Tällöin kesäkuussa hukkalämpö tulee 125 kWh ja heinäkuussa 265 kWh. Kesäkuukausiksi olisi siis keksittävä jotakin lisäkulutusta, jotta hukkaenergiaa ei tulisi. Keräinten tuotto puolestaan on suurimmillaan toukokuussa, jolloin niistä saadaan 800 kWh energiaa. Tällöin saadaan kaikki tuotettu aurinkolämpö hyödynnettyä, koska lämmitystä tarvitaan reilummin. Aurinkolämmöllä saadaan siis tuotettua hukkaenergia huomioiden vuodessa 4200 kWh energiaa. Kokonaisuudessaan lämmitykseen, lämpimän käyttöveden tuottoon ja varaajan häviöihin kuluu 25625 kWh energiaa, joten maalämmöllä ja puukattilalla joudutaan tuottamaan 21425 kWh lämpöä. Aurinkolämmöllä saadaan siis tuotettua 16% kokonaislämmönkulutuksesta. (Ympäristöministeriö 2012: Aurinko-opas 2012)

Taulukko 3: Aurinkokeräinten laskennallinen kuukausituotanto.

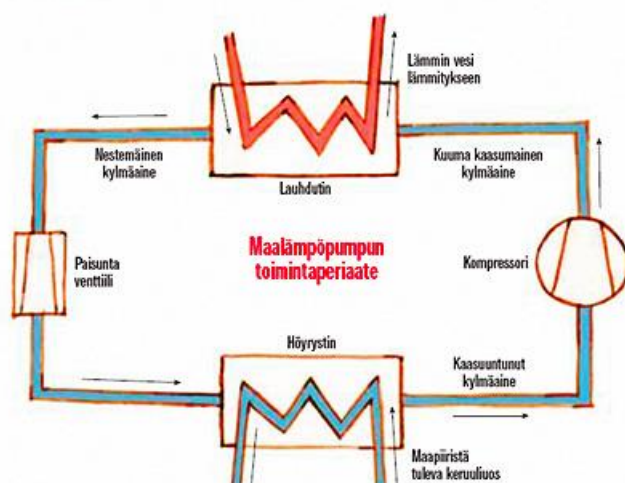
	Kiinteistön lämmönkulutus kWh	Energia LKV:n kWh $Q_{kv}=(cm\Delta t/3600)^*$ pvlkm	Auringon säteily(JKL) kWh/m ² /kk Q_s	Korjauskertoimet 45°(JKL) k	Keräinten tuotto kWh $Q_{ker}=Q_s*A*h*k$
Tammikuu	3575	180	5	1,75	38
Helmikuu	3280	165	20	2,27	198
Maaliskuu	2940	180	52	1,75	398
Huhtikuu	2005	175	103	1,3	585
Toukokuu	940	180	171	1,07	800
Kesäkuu	180	175	159	0,99	688
Heinäkuu	45	180	158	1,01	698
Elokuu	255	180	114	1,11	553
Syyskuu	1035	175	71	1,33	413
Lokakuu	1885	180	25	1,63	178
Marraskuu	2590	175	7	1,33	41
Joulukuu	3270	180	3	1	13
	22000,0	2125	yht:		4603

3 HYBRIDIJÄRJESTELMÄN KUVAUS

Toimeksiantajan hybridijärjestelmään kuuluu siis maalämpö, puukattila sekä viimeisimpänä asennettu aurinkolämpöjärjestelmä. Kaikilla näillä energiantuotantomuodoilla lämmitetään lämminvesivaraajan vettä. Varalla on lisäksi kaksi kuuden kilowatin sähkövastusta. Laitteet ovat sijoitettu ulkorakennukseen tehtyyn, niin sanottuun, pannuhuoneeseen. Koko järjestelmästä piirrettiin putkistopiirustus, joka on työn liitteenä (liite 1). Hybridijärjestelmän toimilaitteille tulevat ja niistä lähtevät putkitukset on kuvattu erikseen raportissa.

3.1 Maalämpö

Maalämpöjärjestelmänä toimii Gebwellin toimittama T-10 maalämpöpumppu. Maalämpöpumpun keruupiiri on upotettu kiinteistön vieressä olevan lammen pohjaan. Itse maalämpöpumppu on siis samassa tilassa muiden energiantuotantolaitteiden kanssa. T-10 maalämpöpumpun nimellisteho on 6kW ja se toimii normaalisti lämpöpumpun tavoin eli lämmönkeruupiiristä saatu lämpö höyrystää höyrystimessä kylmäaineen ja tämä höyry puristetaan kompressorilla takaisin nesteeksi ja tässä prosessissa syntyvä lämpö siirretään lauhduttimessa veteen. Lauhduttimesta kylmäaine ajetaan paisuntaventtiilin kautta takaisin höyrystimelle (Kuva 1). (Motiva 2015: Lämpöpumput)



Kuva 1. Maalämpöpumpun toimintaperiaate (Motiva 2015: Lämpöpumput)

3.2 Puukattila

Puukattilana on Jäspin valmistama iäkäs Jäspi YPV40 yläpolttokattila. Nimellisteholtaan kattila on 20-40kW ja sen sisäinen vesitilavuus on 80 litraa. Kattilan hyötysuhde on 80%. Kattila on yläpalokattila eli tulipesässä päällimmäiset puut palavat ja samalla kuivattavat keon alempia puita. Lämmittyään alaosan puut kaasuttavat palavia ainesosiaan ja nämä sitten palavat liekeissä (Kuva 2). (Jäspi 2015: YPV40-käyttöohje) (Motiva 2015: Hake-, pilke- ja halkokattilat)



Kuva 2. Puukattila

3.3 Aurinkolämpöjärjestelmä

Aurinkolämpöjärjestelmä koostuu neljästä Sepratec TZ58/1800-20R tyhjiöputkiaurinkokeräimestä (Kuva 3) ja pumppuryhmästä, johon kuuluu Wilo ST15/6 ECO-3-C-pumppu, varoventtiili, vapaakierron estoventtiili sekä paine- ja lämpömittarit. Järjestelmää ohjataan Steca TR A502 TT lämpötilaero-ohjaimella.

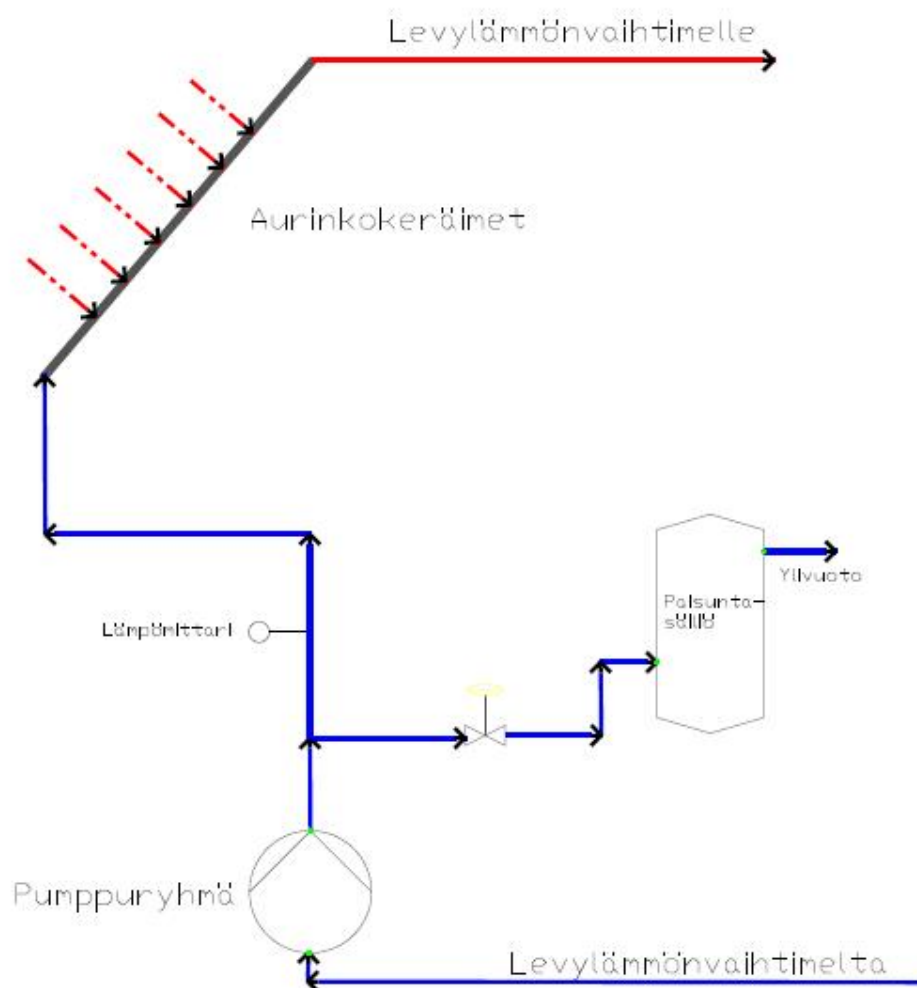
Aurinkeräimet ovat Sepratecin maahantuomia tyhjiöputkikeräimiä. Yhdessä keräimessä on 20 kpl tyhjiöputkia, jotka ovat yläosastaan kiinnitetty lämmönvaihtimeen ja alaosaan alatuen muoviholkkeihin. Yhden aurinkokeräimen mitat ovat seuraavat: Pituus on 2,10 m, leveys on 1,68 m ja syvyys on 0,189 m eli kokonaispinta-alaksi tulee $3,528 \text{ m}^2$. Keräinputkiston kokonaispinta-ala puolestaan on $3,377 \text{ m}^2/\text{keräin}$. Tästä absorbaatio pinta-alaa on $1,607 \text{ m}^2$. Tilaa neljä keräintä vie katolla yhteensä $14,112 \text{ m}^2$. Absorbaatio pinta-alaa puolestaan on $6,428 \text{ m}^2$. Hyötysuhde kohteen aurinkeräimillä on 0,85. Painoa yhdelle keräimelle tulee tyhjänä 73 kg eli neljä keräintä painaa 222 kg



Kuva 3. Sepratec TZ58/1800-20R tyhjiöputkiaurinkokeräin (Sepratec 2010)

Tyhjiöputkikeräimen toimintaperiaate on seuraavanlainen. Keräimen tyhjiöputket keräävät auringon lämpösäteilyä ja putkessa oleva neste höyrystyy ja samalla sitoo itseensä lämpöä. Höyrystynyt neste puolestaan nousee putkea pitkin putken päässä olevaan lauhduttimeen, jossa se luovuttaa lämpönsä. Lämmön luovutuksen seurauksena höyry jäähtyy ja tiivistyy takaisin nesteeksi, neste puolestaan valuu takaisin lämpöputken alaosaan. Kun lauhduttimen lämpötila nousee tarpeeksi, käynnistyy aurinkojärjestelmän kiertovesipumppu ja glykoli/vesi-pohjainen siirtoneeste alkaa virrata vieden keräimien lämmönvaihtimesta energian varaajan yhteydessä olevaan erilliseen lämmönvaihtimeen, josta lämpö siirtyy varaajaan (Kuva 4). Tyhjiöputkessa oleva neste saadaan tyhjiön ansiosta höyrystymään noin 30°C:ssa, joten keräinprosessi toimii hyvinkin pienillä säteilymäärillä ja näin ollen tyhjiöputkikeräimillä pystytään saamaan tuotantoa jo helmikuussa. (Sepratec 2010)

Keräinpiirin putkitus on toteutettu valmiiksi eristetyllä aurinkolämpöjärjestelmiin suunnitellulla Armaflex DuoSolar putkella. Aurinkolämpöjärjestelmän keräinpiirin eli nestekierto-putkiston, pumppuryhmän ja lämmönvaihtimen hyötysuhteeksi saadaan kirjallisuudesta oletusarvo 0,8. Tätä arvoa käytetään, jos ei ole tiedossa tarkempaa laskennallista arvoa. Aurinkojärjestelmän kokonaishyötysuhteeksi saadaan kaavan 2. mukaan 0,68.



Kuva 4. Aurinkopiiriin putkikierto

3.4 Lämminvesivaraaja

Järjestelmään kuuluva lämminvesivaraaja on tilavuudeltaan 2000 litraa. Varaaja toimii niin sanottuna akkuvaraajana eli järjestelmän tuottama lämpö varastoidaan varaajassa olevaan veteen. Varaajassa olevaa vettä käytetään suoraan lämmitysvetenä (Kuva 5).

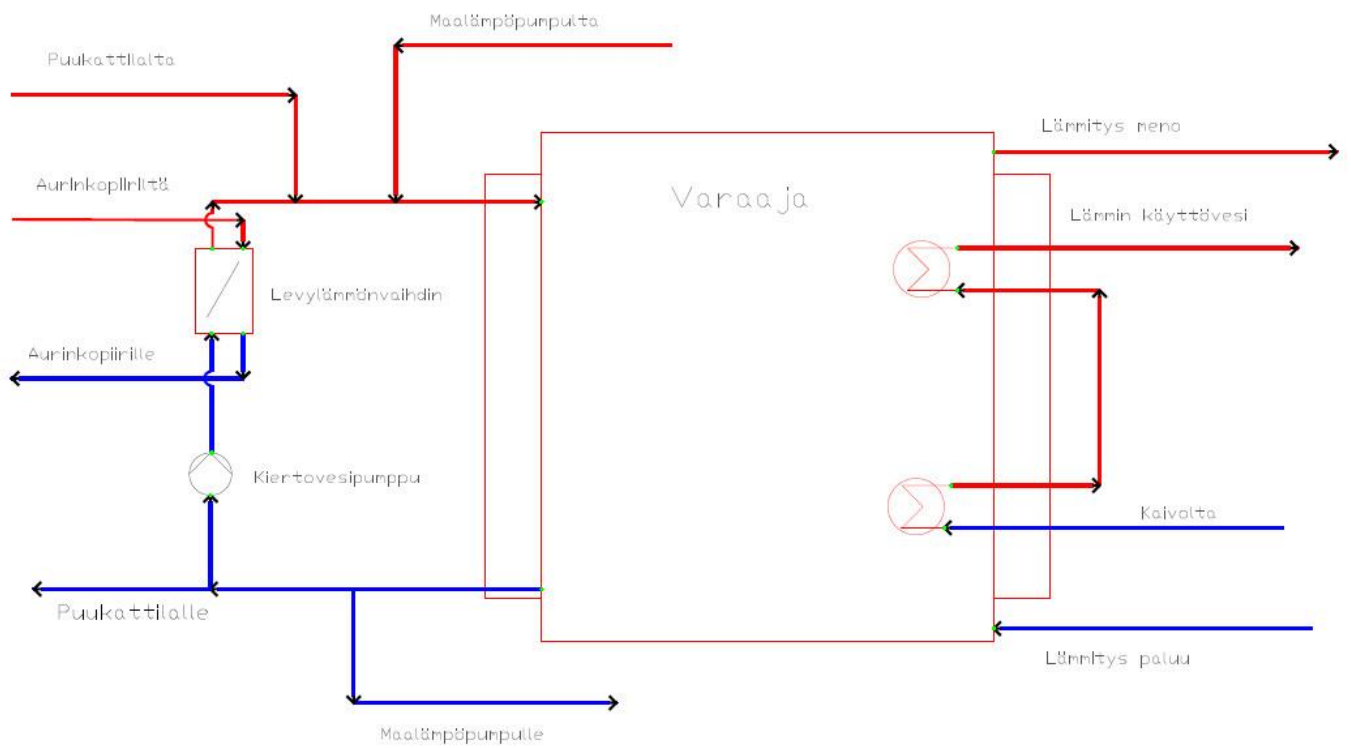


Kuva 5. Läminvesivaraaja

Varaajassa itsessään on kaksi lämmityskierrukkaa, joiden avulla lämmin käyttövesi lämmitetään. Kylmä vesi tulee kaivolta ensin varaajan alavedessä olevan kierrukan läpi, jossa se esilämmittyy ja tämän jälkeen vesi johdetaan varaajan ylävedessä olevaan kierukkaan, jossa se lämpenee lopulliseen lämpötilaansa.

Aurinkolämmityspiiriltä tuleva lämpö saadaan siirrettyä varaajaan erillisen lämmönvaihtimen avulla, johon vesi pumpataan varaajan alaosaan ja lämmitetty vesi siirretään varaajaan yläosaan. Samaan vesipiiriin on kytketty puukattilalta tuleva kuuma vesi sekä maalämpöpumpulta tuleva vesi (Kuva 6).

Läminvesivaraajaan on lisäksi kytketty kaksi 6kW:n sähkövastusta, toinen alaveteen ja toinen väliveteen. Näitä sähkövastuksia käytetään ainoastaan viimeisenä varajärjestelmänä.



Kuva 6. Varaajan putkikierto

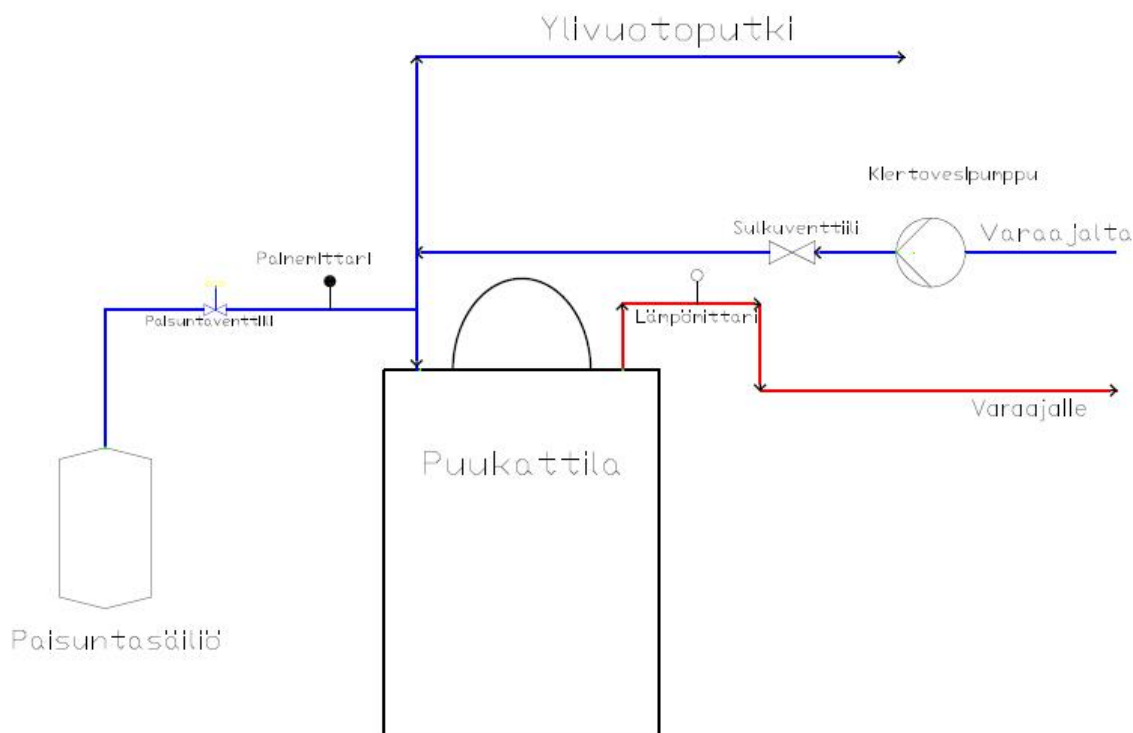
4 JÄRJESTELMÄN TOIMINTA

4.1 Järjestelmän toiminta ja ajotapa

Kesäaikaan aurinkolämpöjärjestelmällä pyritään kattamaan kiinteistön lämmöntarpeet mahdollisimman kattavasti. Tällöin pyritään siihen, että maalämpöä ei tarvitsisi käyttää ollenkaan ja puukattilaakin vain tarpeen mukaan, jotta saadaan lämmin käyttövesi tarpeeksi lämpimäksi. Tarkoituksena tulevaisuudessa on saada järjestelmä optimoitua niin hyvin, että puukattilan ja maalämmön käyttö jäisi kesäaikana kokonaan pois.

Talvella pääenergian lähteet ovat puukattila ja maalämpö joista puukattilaa pyritään käyttämään mahdollisimman paljon, jotta saadaan säästettyä maalämpöpumpun käyttämää sähköä.

Puukattilan toimintaperiaate on yksinkertainen: Lämmitetään kattilassa olevaa vettä polttamalla puita tulipesässä. Kohteessa kattilaan johdetaan vettä varaajan alaosaan avaamalla kattilan tulovesilinjassa oleva venttiili. Vesi lämmitetään kattilassa ja kun se on saavuttanut halutun lämpötilan kiertovesipumppu menee päälle ja alkaa pumpata kattilaan lisää varaajan alaosaan vettä. Samalla kattilasta siirtyy lämmintä vettä varaajan yläosaan. Pumpun ohjaus on toteutettu lämpötilaohjauksella eli kun haluttu lämpötila saavutetaan pumppu menee päälle. Lämpötilaohjaus on sikäli tärkeä, ettei pumppua pyöritetä kattilan veden ollessa liian alhainen, koska varaajan yläosaan ei haluta johtaa turhaan liian alhaisessa lämpötilassa olevaa vettä. Talviaikaan pyritään polttamaan mahdollisimman paljon puuta, jotta maalämmön käyttö saataisiin minimoitua (Kuva 7).



Kuva 7. Puukattilan putkikierto

Maalämpöpumppu toimii puolestaan normaalisti lämpöpumpun tavoin ja se on myös lämpötilaohjattu eli varaajan keskiosan lämpötilan laskiessa tarpeeksi alas menee maalämpöpumppu päälle ja alkaa tuottaa lämpöä. Kohteessa olevalla Gebwellin T-10 6kW:n maalämpöpumpulla

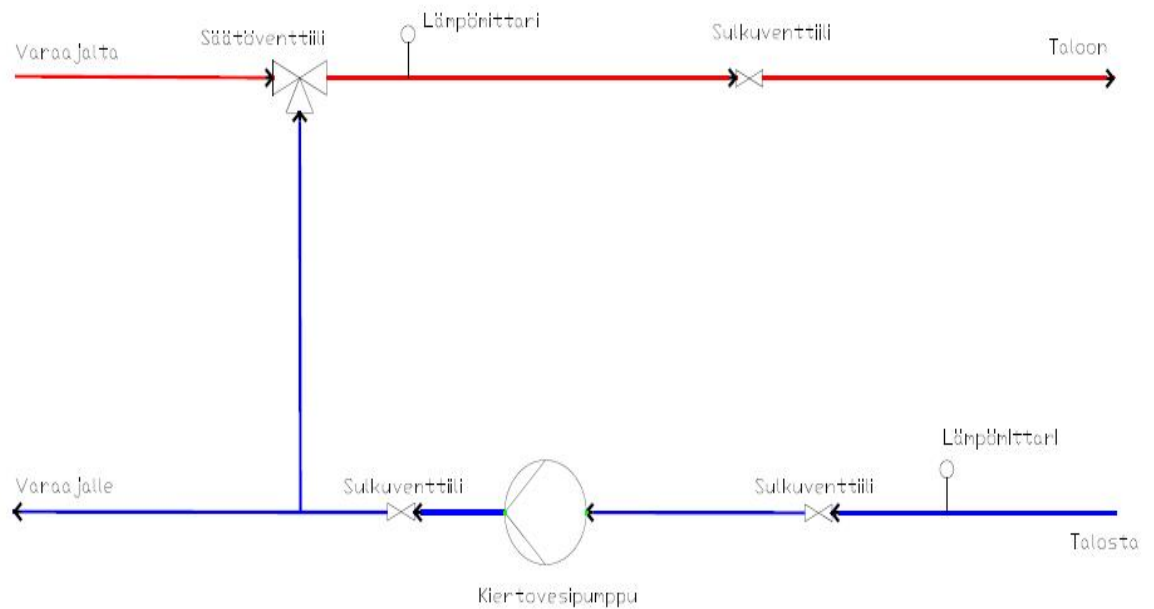
pystytään tarvittaessa tuottamaan sekä kiinteistön lämmitykseen että lämpimän käyttöveden tuottamiseen tarvittava lämpömäärä.

Aurinkolämpöjärjestelmä koostuu neljästä tyhjiöputkikeräimestä, pumppuryhmästä, ulkoisesta lämmönvaihtimesta sekä järjestelmää ohjaavasta Steca TR A502 TT lämpötilaero-ohjaimesta (Kuva 8). Kun järjestelmä otetaan ensimmäistä kertaa käyttöön, valitaan ohjaimen esiasetuksista oikea valinta kohteen aurinkolämpöjärjestelmän mukaan eli tässä tapauksessa valitaan yksi keräin ja yksi varaaja ulkoisella lämmönvaihtimella. Ohjaimessa on esiasetettu vaihtoehtoja erilaisille aurinkolämpöjärjestelmille varaajien ja kerääjien lukumäärän sekä lämmönsiirtotavan mukaan. Samalla asetetaan järjestelmään oikea aika sekä aurinkojärjestelmän pumpun tyyppi. Seuraavaksi valitaan, millä tavalla halutaan kiertovesipumppua ajaa. Kohteessa on valittu asetus, jossa pyritään kiertovesipumppu käynnistämään, kun varaajan yläosan ja aurinkokeräinten lämpötilaero nousee yli 6°C. Normaalitylanteessa tämä asetus riittää kohteen tarpeisiin. Kesäaikaan, kun tuotantoa on paljon voidaan ottaa käyttöön asetus, jossa säädetään vain varaajan lämpötilaa eli kiertovesipumppu pyörii niin kauan kuin varaajan lämpötilaero täyttyy. Tämä asetus kannattaa vaihtaa normaaliin heti, kun loppuillapäivällä auringon paiste alkaa hiipua ja keräinten lämpötila näin ollen tippuu. Sillä jos varaajan lämpötila ylittää keräinten lämpötilan, alkaa varaaja luovuttaa lämpöä keräimille, eikä toisinpäin niinkuin pitäisi.



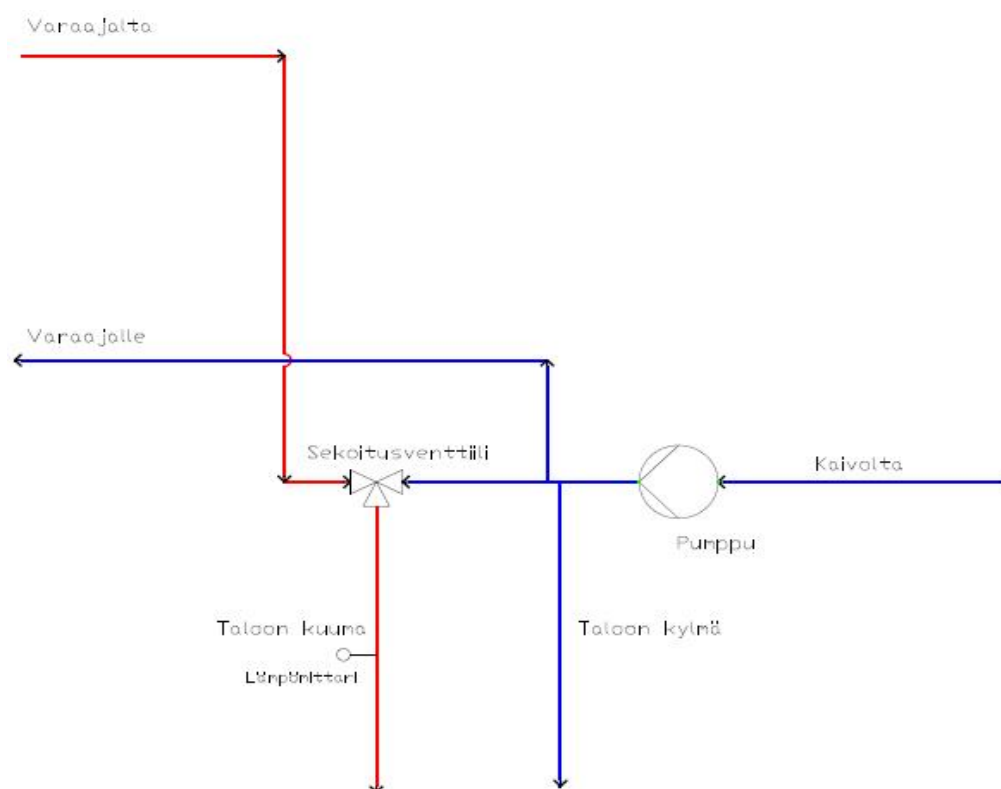
Kuva 8. Steca TR A502 TT lämpötilaero-ohjain (Sepratec 2010)

Lämmitysjärjestelmään eli pattereille ja lattialämmitykselle saadaan vesi varaajasta kiertovesipumpulla. Pumppua ohjataan säätimellä, johon on asetettu tietty paluuveden lämpötila. Säädin mittaa paluuveden lämpötilaa ja säätelee veden virtausta sen mukaan, miten lämmintä paluuvesi on: Jos paluuvesi on viileämpää kuin asetuslämpötila, säädin nostaa virtausnopeutta ja puolestaan, jos vesi on lämpimämpää niin virtausta pienennetään. Samalla säädin mittaa myös ulkoilman lämpötilaa ja nostaa virtausta, jos ulkolämpötila alkaa tippua. Tällä tavoin järjestelmä ennakoii ja kompensoi toiminnassaan ulkolämpötilan muutoksista johtuvia kulutusmuutoksia. Taloon menevän veden lämpötila säädetään puolestaan sekoitusventtiilinä toimivalla käsikäyttöisellä säätöventtiilillä (Kuva 9).



Kuva 9. Lämmityskierron putkitus

Käyttövesijärjestelmän paine saadaan porakaivon pumpulla, eli pumppu menee päälle, kun järjestelmän paine tippuu alle säädetyn rajan. Tällä paineella siis myös lämmin käyttövesi saadaan taloon. Taloon menevän lämpimän käyttöveden lämpötila säädetään sopivaksi käsikäyttöisellä sekoitusventtiilillä. Sekoitusventtiilin jälkeen on lämpömittari, jonka mukaan taloon menevä lämmin käyttövesi saadaan säädettyä oikean lämpöiseksi (Kuva 10).



Kuva 10. Käyttövesikierron putkitus

4.2 Ongelmat ja ratkaisut

Pystytäänkö aurinkolämpöjärjestelmästä ottamaan kaikki teho irti? Riittääkö varaajassa kapasiteetti? Saadaanko kesäaikana tarpeeksi kulutusta, että aurinkolämpöjärjestelmän tuotto saataisiin kerättyä varaajaan, niin ettei varaajan lämpötila kasva liian suureksi? Tällaiset kysymykset tulivat ensimmäisenä mieleen, kun tätä työtä alettiin tekemään. Sitä pystytäänkö aurinkolämpöjärjestelmästä ottamaan kaikkia tehoja irti ei vielä tässä vaiheessa tiedä, koska pumppuviasta johtuen järjestelmä toimi kesällä 2015 vain osittaisteholla. Tähän kysymykseen saadaan varmastikin vastaus kesällä 2016, kun järjestelmää päästään ajamaan täydellä teholla ja säädöt saadaan optimoitua. Todennäköisesti eteen tulee vielä ongelmia, mutta laitteiston toimiessa oikein tullaan saamaan oikein hyviä tuottolukemia järjestelmästä. Varaajan kapasiteetin riittävyys on seuraava epävarmuustekijä. Laskelmien perusteella se riittää hyvin kaikkina muina kuukausina paitsi kesä- ja heinäkuussa, jolloin ylituotantoa tulisi jonkin verran. Kapasiteetti ongelmaa on hankala ruveta ratkaisemaan laitteistoa muuttamalla, joten yksinkertaisin ratkaisu on jollakin tavalla lisätä kesäaikana lämpimän veden kulutusta. Toimeksiantajan mukaan heillä on kesäisin aika paljon ystäviä saunavieraina niin tässä voi olla ratkaisu ylituotanto ongelmaan.

Aurinkolämpöjärjestelmässä olleen pumppuvian syytä pohdiskellessa mieleen tuli kysymys olisiko pumpun läpi mahdollisesti päässyt virtaamaan ylikuumaa nestettä. Asiaa tutkittaessa löytyi Danfoss:n internet-sivuilta Danfoss Hexact-niminen ohjelma, jolla lämmönvaihtimien arvoja pystyy laskemaan. Ohjelman avulla selvisi, että järjestelmän toimiessa normaalisti, ylikuuman nesteen pääsy pumppuun ei ole mahdollista, mutta lämmönvaihtimen kiertovesipumpun pysähtyminen tai pyöriminen liian hitaasti estää lämmönsiirtymisen lämmönvaihtimelta varaajaan ja ylikuumaa nestettä pääsee virtaamaan aurinkojärjestelmän pumpun läpi aiheuttaen mahdollisesti pumpun rikkoontumisen.

Kokonaisuutena järjestelmän eri lämmitysmuodot toimivat hyvin yhteen eikä mitään suurempia ongelmia ilmennyt minkään laitteen osalta. Maalämpö toimii niinkuin pitää ja se putoaa käytöstä pois, kun puulla lämmitetään ja puolestaan, kun auringosta saadaan tuotantoa, ei maalämpö ole silloinkaan päällä. Koska järjestelmässä käytettävät laitteet, kuten nykyään pitkälti kaikissa järjestelmissä, ovat sähköstä riippuvaisia, sähkökatkoksen aikaan järjestelmän toiminta pysähtyy. Pumput eivät toimi ilman sähköä ja sähkökatkoksen pitkittyessä lämmitys ja käyttöveden saanti pitää hoitaa muulla tavoin. Lämmityksen voi hoitaa talossa polttamalla puita tulisijoissa, mutta veden saanti on hankalampaa, koska kiinteistössä on porakaivo ja sieltä veden saaminen ilman pumppua on mahdotonta. Pitempien sähkökatkosten varalle voi varautua hankkimalla aggregaatin jolla, voidaan tehdä sähköä esimerkiksi pumppujen tarpeisiin.

5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tarkoituksena oli kuvata toimeksiantajan Leppävirralla sijaitsevan kiinteistön lämmitysjärjestelmän eri osat ja selventää niiden toimintaa sekä selventää hybridijärjestelmän mitoitus ja laskea kiinteistön lämmönkulutusta ja -tuotantoa. Lisäksi piirrettiin laitteiston putkituksista periaattelliset kuvat.

Työn aluksi tutustuttiin kohteen hybridijärjestelmään paikan päällä. Tietoa järjestelmän toiminnasta saatiin toimeksiantajalta. Alussa selvisi, ettei järjestelmän putkituksista ole olemassa minkäänlaisia kuvia joten todettiin, että jonkinlaiset kuvat olisi hyvä tehdä. Alunperin työn tarkoituksena oli optimoida kohteen aurinlämpöjärjestelmää, mutta pumppurikon vuoksi työ muuttui tosiaan edellä kuvatun kaltaiseksi.

Kesän, syksyn ja talven aikaan vierailtiin kohteessa ja perehdyttiin järjestelmän toimintaan. Samalla piirrettiin paperille järjestelmän eri osista putkikuvia ja tutkittiin mihin suuntaan niissä vesi virtaa. Lisäksi järjestelmän laitteet valokuvattiin. Näiden vierailujen, muistiinpanojen ja valokuvien perusteella alettiin sitten rakentamaan vähän kerrassaan kuvausta järjestelmästä ja suunnittelemaan putkistokuvia.

Seuraavassa vaiheessa oli edessä kiinteistön energian tarpeiden ja tuotannon laskeminen. Tätä tarkoitus varten tehtiin mukaillen valmiista laskurista oma energialaskuri, josta oli suuri apu lämpömääriä laskiessa. Lisäksi internetissä olevista laskureista oli todella paljon hyötyä. Kulutusmäärät ja tuotetut lämpömäärät ovat ns. teoreettiset, koska varsinaisia kulutuslukuja toimeksiantajalla ei ollut. Itse laskut pyrittiin pitämään hyvin yksinkertaisena, koska tarkoituksena ei ollut laskea täydellisen tarkkoja energiatuotanto- ja käyttölukuja vaan saada enemmänkin havainnollistettua kuukausittaisia tuotantoja ja kulutuksia kohtuullisella tarkkuudella. Halutessa laskujen pohjalta pystytään menemään vielä tarkempaan analyysiin ja saadaan ihan todelliset tuottoarvot laskettua, mutta tähän tarkoitukseen työssä lasketut arvot riittävät oikein hyvin.

Viimeisessä vaiheessa piirrettiin periaattelliset kuvat järjestelmän putkistoista Autodeskin Autocad P&ID:llä paperimuistiinpanojen ja valokuvien perusteella. Näissä kuvissa haluttiin kiinnittää huomiota ennenkaikkea niiden luettavuuteen eli jos kuvaa katsoo, pitäisi tavallisenkin ihmisen ymmärtää mihinkä suuntaan vesi virtaa, onko se kylmää vai kuumaa ja mitä laitteita kuvassa on. Tässä asiassa onnistuttiin hyvin.

Kokonaisuutena toimeksiantajan hybridijärjestelmä on varsin onnistunut. Laskelmien perusteella aurinkojärjestelmän mitoitus on oikein onnistunut. Kesällä ylituotantoa ei ole hirveästi ja mahdollisesti talvella helmikuussa saadaan jo tuotettua lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvittava lämpömäärä. Täydellä teholla toimiessaan aurinkolämpöjärjestelmällä pystyttäisiin laskujen mukaan kattamaan 16% lämmitykseen ja lämpimän käyttöveden tuottamiseen kuluvasta lämmöstä. Tämä on

oikein hyvä tulos niin prosentteina kuin kilowattitunteina: 4200 kWh. Sinänsä on vielä arvoitus saadaanko järjestelmä ihan täysillä tehoilla toimimaan, mutta sen tuleva kesä 2016 näyttää.

6 LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

Motiva 2015: Koti ja asuminen [Viitattu 29.12.2015] Saatavissa: http://motiva.fi/koti_ja_asuminen

Motiva 2015: Lämpöpumput. [Viitattu 1.1.2016] Saatavissa:
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/lampopumput

Motiva 2015: Veden kulutus [Viitattu 16.1.2016] Saatavissa:
http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/mihin_energiaa_kuluu/vedenkulutus

Motiva 2015: Lämmitysvertailulaskuri [Viitattu 16.1.2016] Saatavissa:
<http://lammitysverailu.eneuvonta.fi/>

Motiva 2015: Hake-, pilke- ja halkokattilat [Viitattu 19.1.2016] Saatavissa:
http://motiva.fi/rakentaminen/lammitysarjestelman_valinta/lammitysmuodot/hake-_pilke-_ja_halkokattilat

Sepratec 2010: Sepratec aurinkokeräimet [Viitattu 11.1.2016] Saatavissa:
<http://www.sepratec.fi/seprasolar3.htm>

Ympäristöministeriö: Rakennusmääräyskokoelma D5 [Viitattu 11.1.2016] Saatavissa:
http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma

Ympäristöministeriö: Aurinko-opas 2012 [Viitattu 10.1.2016] Saatavissa: http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma

Etelä-Suomen Prosessisysteemi Oy: Astepäiväluku ja lämmitystarveluku [Viitattu 18.1.2016]
Saatavissa: <http://www.prssystem.fi/astepaivaluku-ja-lammitystarveluku/>

Ilmatieteen Laitos 2015: Lämmitystarveluvut [Viitattu 18.1.2016] Saatavissa:
<http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>

Jäspi 2012: Jäspi YPV40-käyttöohje [Viitattu 19.1.2016] Saatavissa:
http://www.kaukora.fi/sites/default/files/kaukorafiles/kayttoohjeet/Jaspi_YPV40_kayttoohje.pdf

JUNTUNEN, Jouni ja AUVINEN, Karoliina 2015. Aalto-yliopisto. Saatavissa:
<http://www.finsolar.net/wp-content/uploads/2015/09/Aurinkolammon-investointilaskuri-v9.xlsx>

7 LIITTEET

LIITE 1: Putkipiirrustukset

